

Simulation d'une rencontre de deux trous noirs par le projet Ligo



Einstein avait encore raison

La détection des ondes gravitationnelles ouvre la voie à une toute nouvelle façon de découvrir l'Univers. Après le télescope, l'interféromètre.

Par Mélissa Guillemette

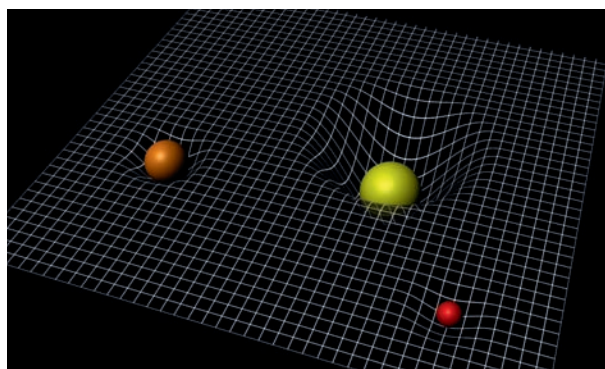
Le signal en dents de scie détecté le 14 septembre 2015 ne dure qu'une fraction de seconde. Même pas le temps d'un tic ou d'un tac. Pourtant, il porte assez d'information pour décrire un événement survenu il y a 1,3 milliard d'années dans une autre galaxie.

Ce signal, telle une signature, nous informe de la fusion fracassante de deux trous noirs. L'annonce de sa détection, en février dernier, a fait entrer l'astronomie dans une nouvelle ère, après que les scientifiques eurent étudié le ciel pendant des décennies au moyen des ondes électromagnétiques. « La lumière visible, les ondes radio et les rayons X, ça fait partie d'un même spectre, rappelle Serge Pineault, astrophysicien et professeur à l'Université Laval. Mais les ondes gravitationnelles, c'est complètement différent. »

Contrairement à un signal lumineux, qui traverse l'espace-temps, les ondes gravitationnelles déforment cet espace-temps en s'éloignant du site de l'événement qui les a causées. Comme des vagues qui traverseraient l'Univers à la vitesse

de la lumière pour nous informer que quelqu'un a fait un plongeon, là-bas, depuis un tremplin !

Quand la vague venue des profondeurs de l'espace a traversé la Terre, ce 14 septembre 2015, les deux détecteurs du Ligo (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) l'ont perçue. Chacun de ces interféromètres installés aux États-Unis – l'un dans l'État de Washington, l'autre en Louisiane – a deux bras de quatre kilomètres de longueur, placés en L. Un faisceau laser les parcourt aller-retour grâce à un jeu de miroirs. Si la lumière des deux bras ne revient pas au même moment au détecteur situé au creux du L, c'est que des ondes gravitationnelles les ont étirés et comprimés lors de leur passage. Des déformations de l'ordre du millième de la taille d'un noyau atomique, et qui n'ont duré



CHRISTOPHE CARREAU/ESA

Représentation de l'espace-temps à deux dimensions. Elle permet de comprendre schématiquement l'effet des masses sur la courbure de l'espace selon la relativité générale. Un astre plus massif (en jaune) déforme davantage l'espace, qu'un astre plus « léger » (en rouge et en orange). Le passage d'ondes gravitationnelles déforme aussi cette grille,



L'interféromètre installé dans l'État de Washington. Il peut écouter l'espace.

que 0,12 seconde lors de cette première détection !

Le signal, qui rappelle un cardiogramme, transmet donc sur écran la subtile déformation des bras des interféromètres. Mais comment de petites oscillations sur un schéma peuvent-elles nous permettre de mieux comprendre l'Univers ? « Le nombre de petites bosses dans le signal, leur rapidité, leur intensité : tout ça, c'est très, très riche en information », explique Julie Hlavacek-Larrondo, professeure adjointe à l'Université de Montréal et titulaire de la Chaire de recherche du Canada en astrophysique observationnelle des trous noirs. « Par exemple, dans le cas des deux trous noirs, le signal nous indique la masse des objets avant la fusion, leur vitesse de rotation et la masse du nouveau trou noir après la fusion. » Pour déchiffrer ce message de l'Univers, il a suffi d'utiliser les équations de la théorie de la relativité générale qu'Albert Einstein a publiée, il y a 100 ans.

Le meilleur est à venir, car le Ligo venait tout juste de commencer à utiliser de nouveaux détecteurs sophistiqués quand les ondes ont été perçues. Les scientifiques espèrent repérer quelques « événements » du genre chaque année.

Ce nouvel outil d'étude de l'espace devrait s'avérer efficace, car rien ne brouille les ondes gravitationnelles. Elles traversent

tous les objets sur leur passage. Cependant, elles sont faibles et faiblissent encore plus à mesure qu'elles s'éloignent de leur lieu d'origine. Parce que les détecteurs, bien qu'impressionnants par leur précision, seront bien plus performants dans quelques années. On ne peut même pas imaginer ce qui s'en vient, estime Serge Pineault : « Quand Galilée a pointé sa première lunette astronomique vers le ciel, il ne pouvait pas se douter qu'on fabriquerait un jour des télescopes de 30 m ! »

Il faudra cependant plus d'interféromètres comme ceux du Ligo. Il existe présentement un seul autre interféromètre dans le monde, le Geo600 en Allemagne, beaucoup plus petit avec ses bras de 600 m. « Les interféromètres du Ligo ne peuvent pas localiser l'événement ayant causé les ondes gravitationnelles. Ils donnent une idée de la région de l'espace où la fusion s'est produite, mais ça couvre une trop grande partie du ciel. À mesure qu'il y aura plus d'interféromètres, la détection va s'améliorer. »

On attend donc avec impatience la mise en marche de Virgo, en Italie, prévue cet automne, tandis que l'interféromètre Kavra est en construction au Japon et fera ses premières observations en 2018. L'Inde souhaite également se doter d'un tel instrument. Ces installations pourront travailler sur des fréquences

différentes, pour détecter d'autres types d'événements.

De plus, un premier interféromètre devrait être positionné en orbite à partir de 2034, le *eLISA* (Evolved Laser Interferometer Space Antenna), de l'Agence spatiale européenne. Il aura l'avantage de ne pas être perturbé par les mouvements sismiques, un facteur que les chercheurs doivent contrôler au sol. Ça promet !

Les ondes gravitationnelles pourraient aussi nous permettre d'étudier l'origine de l'Univers. Ce dernier a 13,6 milliards d'années et, avec les ondes électromagnétiques, les scientifiques peuvent seulement retourner jusqu'à environ 300 000 ans après le big-bang. Au-delà de ce seuil, l'Univers est opaque. « Les ondes gravitationnelles causées lors du big-bang, ça a dû être sérieux ! dit le professeur Pineault. C'est sûr qu'elles se seront promenées longtemps avant de nous parvenir – elles auront faibli –, mais on espère pouvoir les détecter. »

Ce n'est donc qu'un début. Quels seront les prochains messages de l'Univers ? « En astronomie, on prédit beaucoup de choses et on essaie ensuite de trouver les signaux pour confirmer nos théories, dit Julie Hlavacek-Larrondo. Mais la plupart des grandes découvertes se font finalement en rapport à des choses qu'on n'attendait pas ! » 